

PROCEDIMIENTO DE OBTENCION DE PIEZAS DE COMPOSITE DE  
TITANIO POR FUNDICION Y PIEZAS ASI OBTENIDAS

D E S C R I P C I Ó N

5

**OBJETO DE LA INVENCION**

10 El procedimiento de la invención permite obtener piezas de composite de titanio reforzado, mediante fundición, con un coste de fabricación reducido.

15 El procedimiento permite además obtener piezas de composite de titanio reforzado, cuyo porcentaje de refuerzo puede controlarse.

20 También son objeto de la invención las piezas de composite de titanio reforzado obtenidas por este procedimiento.

20

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

25 El titanio tiene muchas propiedades que lo convierten en un material atractivo para aplicaciones de alto rendimiento, como por ejemplo, uno de los más altos ratios de resistencia-peso y su alta resistencia a la corrosión gracias a la capa de óxido que se le forma.

30 No obstante, a pesar de las ventajas que presentan las aleaciones de titanio respecto a otros materiales, en sectores como el aeronáutico, se siguen buscando nuevas aleaciones y materiales que presenten mejores prestaciones, tanto desde el punto de vista de  
35 propiedades, como de reciclado y que puedan ser

empleadas, por tanto, en un mayor rango de aplicaciones. En concreto, las compañías aeronáuticas están buscando materiales de alto rendimiento, competitivos en costo, más ligeros que las aleaciones convencionales de titanio y reciclables, que pueden mejorar el rendimiento y reducir el consumo mediante la reducción del peso del avión.

Entre los materiales que se están investigando actualmente, se encuentran los composites de titanio que permite, mediante el refuerzo de las aleaciones de titanio, realzar algunas de las propiedades físicas y mecánicas en comparación al material de partida sin reforzar.

Durante las últimas décadas, esta búsqueda se ha centrado principalmente en el refuerzo de aleaciones de titanio con refuerzos continuos unidireccionales, como por ejemplo, composites de titanio reforzados con fibras continuas de carburo de silicio (SiC).

En este sentido, se han llegado a desarrollar materiales con excelentes prestaciones, en el sentido del refuerzo, pero estos materiales presentan limitaciones importantes; como son:

- Elevado coste de producción del composite, ya que están constituido por un material con un refuerzo ajeno a la matriz introducido mediante un proceso de fabricación complejo.
- Presentan inestabilidad química en la intercara fibra-matriz que influye en las prestaciones finales del material.
- Presentan una limitación de la mejora de las propiedades al sentido del refuerzo puesto que

en el sentido transversal al refuerzo presenta propiedades incluso más bajas que las aleaciones sin reforzar.

5            Los últimos estudios han demostrado que la mejor forma de evitar la reacción química en la intercara fibra-matriz, es mediante la formación natural del refuerzo dentro de la matriz mediante el precipitado "in-situ" del refuerzo. La ventaja de la precipitación "in-situ" del refuerzo es el equilibrio entre éste y la matriz, evitando la inestabilidad química que pueda presentar la intercara refuerzo matriz. Otra de las grandes ventajas del precipitado in-situ, es que el refuerzo que se forma no tiene sentido predefinido, aportando propiedades isotópicas al material.

20            No obstante, dado que la fracción volumétrica y la composición de la fase del refuerzo son difíciles de ajustar, prácticamente solo se pueden utilizar boruros y carburos de titanio que, mediante la formación de precipitados de tipo TiB o TiC, mejoran la resistencia, rigidez y fricción del composite resultante.

25            Aunque la precipitación "in-situ" del refuerzo se puede dar en estado sólido o líquido de la matriz, la fabricación del composite de matriz de titanio se ha realizado principalmente mediante el proceso de pulvimetalurgia. Este proceso presenta el inconveniente de que es preciso mecanizar la pieza hasta las dimensiones finales, lo que supone un coste elevado de obtención de piezas por este procedimiento.

35            En la patente US5897830 se describe la obtención de piezas de composite de titanio con refuerzos de carburos y boruros de titanio, mediante procesos de

fundición industrial. Para ello se funde un lingote de composite de titanio que incorpora partículas de refuerzo en un porcentaje similar al requerido para las piezas a obtener, obteniéndose el mencionado lingote reforzado por técnicas de pulvimetalurgia.

Por lo tanto, esta patente se centra en la obtención de un lingote de composite de titanio mediante técnicas de pulvimetalurgia.

El proceso descrito en esta Patente, presenta dos inconvenientes:

- Es necesario fabricar todo el lingote consumible de composite mediante pulvimetalurgia que, al ser un proceso caro, encarece el coste final de las piezas obtenidas.
- El porcentaje de refuerzo final en las piezas obtenidas mediante fundición viene predeterminado por el porcentaje de refuerzo disponible en el lingote, lo cual requiere la fabricación de un lingote concreto para cada colada en función del porcentaje de refuerzo que queramos obtener en las piezas finales.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un procedimiento que resuelve los inconvenientes mencionados, permitiendo obtener piezas de composite reforzado, mediante fundición, con un reducido coste de fabricación y cuyo porcentaje de refuerzo puede controlarse fácilmente.

La presente invención se basa, en primer lugar,

en la obtención de un material de refuerzo formado por boruros de titanio (TiB) y/o carburos de titanio (TiC) distribuidos en una matriz de titanio. De acuerdo con el procedimiento de la invención, el material de refuerzo se obtendrá mediante un proceso basado en las reacciones de síntesis autopropagada a alta temperatura (SHS) de compuestos fuertemente exotérmicos como es el caso de los carburos y los boruros de titanio.

Este proceso se basa en el carácter sumamente exotérmico de las reacciones de formación de los carburos de titanio y de los boruros de titanio. Esto significa que la formación de TiC a partir de sus elementos constituyentes resulta muy favorable desde el punto de vista termodinámico, lo mismo que el TiB ya que, una vez que se inicia la reacción, la temperatura sube rápidamente, debido al calor que desprende, por lo que favorece y facilita la formación de los boruros o los carburos de titanio. Debido a la muy alta entalpía de formación, tanto del carburo de titanio como del boruro de titanio, el proceso que se propone para su obtención resulta sencillo, económico y perfectamente aplicable a escala industrial.

Este procedimiento permite obtener un material de refuerzo con un alto porcentaje (30-70% peso) de TiB y/o TiC, y además presenta una serie de ventajas frente a los procesos convencionales de pulvimetalurgia, como son:

- Los materiales de partida son polvos de titanio, de carbono y de boro.
- No se necesitan equipos sofisticados para su producción, como pueden ser hornos de alta temperatura, equipos de alto vacío, etc. El proceso tiene lugar en un molde metálico y una prensa.

- La energía exterior utilizada en el proceso es mínima. La reacción se inicia en la superficie con un aporte de calor puntual y se propaga mediante una autocombustion del propio material.
- Es un proceso rapidísimo que dura segundos, lo cual proporciona una alta productividad.
- Se obtiene un producto puro ya que las impurezas se evaporan en el propio proceso.
- Es un proceso seguro y limpio puesto que genera pocos residuos y no tiene peligrosidad.

En un proceso de fabricación independiente, se ha obtiene un lingote consumible de titanio o aleación de titanio convencional, es decir, un lingote sin partículas de refuerzo y preferentemente una aleación cp-Ti grado 1, cp-Ti grado 2, cp-Ti grado 3, cp-Ti grado 4, Ti-0.05Pd, Ti-6Al-4V, Ti-5Al-2.5Fe, Ti-5Al-2.5Sn, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si, Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.5Mo-0.7Nb-0.35Si-0.06C,  $Ti_3Al$ , Ti-14Al-11Nb,  $Ti_2AlNb$ ,  $\gamma TiAl$ , o  $Ti(22-23)Al-(25-26)Nb(at\%)$ .

A continuación, el material de refuerzo obtenido se funde, en un proceso de fundición industrial, junto con el lingote consumible de titanio o aleación de titanio convencional.

El material de refuerzo puede fundirse con el lingote consumible, sin que exista ninguna unión física o química entre ellos o, en ocasiones, el material de refuerzo, en una única pieza o de forma fraccionada, puede unirse al lingote consumible, antes de la fusión, con medios mecánicos, por soldadura o por cualquier otro procedimiento. También se ha previsto que puedan realizarse taladros u orificios en la superficie del lingote en los que se introduce el material de refuerzo,

pudiendo así presentar una distribución adecuada del mismo.

La fusión se puede producir mediante el procedimiento de fusión por arco eléctrico en vacío y/o fusión por inducción en vacío y el colado sobre los moldes se produce mediante un proceso de centrifugado o llenado por gravedad.

Durante la fusión y llenado de moldes en el proceso industrial, el material de refuerzo que ha sido utilizado junto con el lingote consumible, se diluye en el titanio líquido permitiendo obtener piezas finales de composite con porcentajes variables de refuerzo TiB y/o TiC y que pueden alcanzar valores comprendidos entre el 0% en peso e inferiores al 70% en peso.

De esta manera, controlando la cantidad de TiB y/o TiC en el material de refuerzo producido mediante el procedimiento de síntesis autopropagada a alta temperatura, se puede controlar el porcentaje de refuerzo TiB y/o TiC que queremos obtener en las piezas finales, reduciendo así el coste de tener que producir un lingote entero de composite con el porcentaje de refuerzo necesario, de acuerdo con las características requeridas para la pieza final de composite moldeado.

Con este procedimiento se obtienen piezas de fundición de titanio reforzado que presentan un porcentaje de boruro de titanio y/o carburo de titanio entre el 0% y el 70%, en peso, dispersado en titanio o aleación de titanio, obteniéndose las piezas por fundición de un lingote consumible de titanio o aleación de titanio, no reforzado, y un material de refuerzo de composite de titanio, formado por boruros y/o carburos de titanio en un

30% o 70% en peso, dispersado en titanio o aleación de titanio, obtenido mediante técnicas de SHS.

#### DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

5

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

10

15

Figura 1.- Muestra una micrografía (x1000) del material reforzante (Ti/TiB) producido por el proceso SHS. El refuerzo es TiB con un porcentaje de 60% en peso distribuido en una matriz de Ti puro.

20

Figura 2.- Muestra una micrografía (x2000) de las piezas finales fundidas de composite de titanio. El refuerzo TiB final distribuido en la matriz Ti6Al4V es del 2% en peso.

#### REALIZACION PREFERENTE DE LA INVENCION

25

A continuación, se describirá un ejemplo de fabricación de acuerdo con el procedimiento objeto de la invención.

30

#### EJEMPLO

En este ejemplo se describe la obtención de piezas de moldeo de fundición de titanio reforzado.

35

1. Obtención de un material de refuerzo de composite de



**titanio.**

5 Mediante el procedimiento de síntesis autopropagada a alta temperatura se prepara un material de refuerzo de composite de titanio, Ti/TiB (60% peso). El proceso consiste en la mezcla de polvos, prensado de los polvos y síntesis autopropagada acompañada de una compactación.

**Mezcla:**

10

Los materiales que componen la mezcla son:

800 gr de Ti

65 gr de B

15

La mezcla se realiza en un medio seco, utilizando un equipo tubular con bolas de  $Al_2O_3$  como medio de molienda durante 12 horas.

**Prensado de la muestra:**

20

La mezcla de polvos se densifica utilizando una carga de 5 Tn.

**Síntesis autopropagada + compactación:**

25

Para la realización de la síntesis se utiliza un molde de acero resistente a altas presiones y temperaturas. Este molde consta de tres partes, base del molde, parte de ventilación del molde y tapa del molde.

Base del molde, donde se coloca la muestra a reaccionar.

30

Parte de ventilación del molde, parte donde se coloca la resistencia con la que se inicia la reacción. Consta de orificios que permiten la ventilación del sistema. Son necesarios para que el gas que se forma durante la reacción salga fuera y con esto poder obtener una pieza densa con ausencia de poros.

35

Tapa del molde, cierra todo el sistema y es donde se aplica la presión.

Una vez preparada la pieza en verde se introduce en el molde y se coloca dicho molde en una presa de 100 Tn y se lleva a cabo la reacción + compactación.

La figura 1 es una micrografía (x1000) del material de refuerzo obtenido mediante el proceso de síntesis autopropagada a alta temperatura descrito anteriormente. El refuerzo es TiB en un porcentaje de 60% peso distribuido en una matriz de Ti puro.

## **2. Utilización de un lingote consumible de aleación Ti6Al4V**

Se utiliza un lingote consumible de aleación Ti6Al4V.

## **3. Fusión simultanea del lingote consumible y del material del refuerzo**

Se realiza un orificio en el lingote de Ti6Al4V y se introduce el material de refuerzo obtenido mediante el procedimiento de síntesis autopropagada a alta temperatura dentro del orificio.

El conjunto de material de refuerzo (Ti/TiB 60%peso) y el lingote consumible (Ti6Al4V) se funde mediante el procedimiento de fusión por inducción en vacío.

## **4. Colado del compuesto fundido y obtención de piezas en su forma y dimensión final.**

El proceso de la cera perdida es el proceso utilizado para la fabricación de moldes cerámicos en donde se cuela el compuesto fundido.

La colada en los moldes se realiza mediante el procedimiento de colada por centrifugado.

La figura 2 nos muestra la microestructura obtenida en la pieza final.

R E I V I N D I C A C I O N E S

1ª.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición que comprende las siguientes fases operativas:

- Obtención de un material de refuerzo de composite de titanio.
- Obtención de un lingote consumible de titanio o aleación de titanio no reforzado.
- Fusión simultanea del material de refuerzo y del lingote consumible.
- Colado del compuesto fundido, en el correspondiente molde, para obtener la pieza de composite en su forma y dimensión final.

2ª.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1ª, caracterizado porque el material de refuerzo está obtenido mediante el procedimiento de síntesis autopropagada a alta temperatura.

3ª.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1ª, caracterizado porque el material de refuerzo es un composite con boruros y/o carburos de titanio distribuidos en una matriz de titanio o aleación de titanio.

4ª.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1ª, caracterizado porque el composite de titanio que constituye el material de refuerzo presenta entre un 30-70% en peso de boruro y/o carburo de titanio, dispersado en titanio o aleación de titanio.

5<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el lingote consumible es de titanio o aleación de titanio.

5 6<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el lingote consumible es una aleación cp-Ti grado 1, cp-Ti grado 2, cp-Ti grado 3, cp-Ti grado 4, Ti-0.05Pd, Ti-6Al-4V, Ti-5Al-2.5Fe, Ti-5Al-10 2.5Se, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si, Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.5Mo-0.7Nb-0.35Si-0.06C, Ti<sub>3</sub>Al, Ti-14Al-11Nb, Ti<sub>2</sub>AlNb, γ TiAl, o Ti (22-23)Al- (25-26)Nb (at%).

15 7<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, y el lingote consumible se unen, antes de la fusión, por 20 procedimiento de soldadura.

25 8<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, y el lingote consumible se unen, antes de la fusión, por medios mecánicos.

30 9<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque antes de la fusión el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, se introduce en uno o varios orificios realizados en el lingote consumible.

10<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque la fusión se produce mediante el procedimiento de fusión por arco eléctrico en vacío y/o fusión por inducción en vacío.

11<sup>a</sup>.- Procedimiento de obtención de piezas de composite de titanio por fundición, según reivindicación 1<sup>a</sup>, caracterizado porque el colado sobre los moldes se produce mediante un proceso de centrifugado o llenado por gravedad.

12<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzada, caracterizada porque se obtiene por fundición partiendo de un material de refuerzo de composite de titanio y de un lingote consumible de titanio o aleación de titanio no reforzado.

13<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12<sup>a</sup>, caracterizada porque el material de refuerzo es un composite con boruros y/o carburos de titanio, dispersados en titanio o aleación de titanio.

14<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12<sup>a</sup>, caracterizada porque presenta un porcentaje de boruro de titanio y/o carburo de titanio superior al 0% e inferior al 70% en peso, dispersado en titanio o aleación de titanio.

15<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12<sup>a</sup>, caracterizada porque el material de refuerzo está obtenido mediante el procedimiento de síntesis autopropagada a alta temperatura.

16<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según

reivindicación 12ª, caracterizada porque el composite de titanio que constituye el material de refuerzo presenta un 30-70% en peso, de boruro de titanio y/o carburo de titanio dispersado en titanio o aleación de titanio.

5

17ª.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12ª, caracterizada porque el lingote consumible es de titanio o aleación de titanio.

10

18ª.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12ª, caracterizada porque el lingote consumible es una aleación cp-Ti grado 1, cp-Ti grado 2, cp-Ti grado 3, cp-Ti grado 4, Ti-0.05Pd, Ti-6Al-4V, Ti-5Al-2.5Fe, Ti-5Al-2.5Sn, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si, Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.5Mo-0.7Nb-0.35Si-0.06C, Ti<sub>3</sub>Al, Ti-14Al-11Nb, Ti<sub>2</sub>AlNb, γ TiAl, o Ti(22-23)Al-(25-26)Nb(at%).

15

19ª.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12ª, caracterizada porque el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, y el lingote consumible se unen, antes de la fusión, por procedimiento de soldadura.

20

20ª.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12ª, caracterizada porque el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, y el lingote consumible se unen, antes de la fusión, por medios mecánicos.

25

21ª.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12ª, caracterizada porque antes de la fusión, el material de refuerzo, que puede ser una única pieza o estar fraccionada, se introduce en uno o varios orificios realizados en el lingote consumible.

30

35

22<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12<sup>a</sup>, caracterizada porque la fusión se produce mediante el procedimiento de fusión por inducción en vacío y/o fusión por arco eléctrico en vacío.

5

23<sup>a</sup>.- Pieza de moldeo de titanio reforzado según reivindicación 12<sup>a</sup>, caracterizada porque el colado sobre los moldes se produce mediante un proceso de centrifugado o llenado por gravedad.



1/1

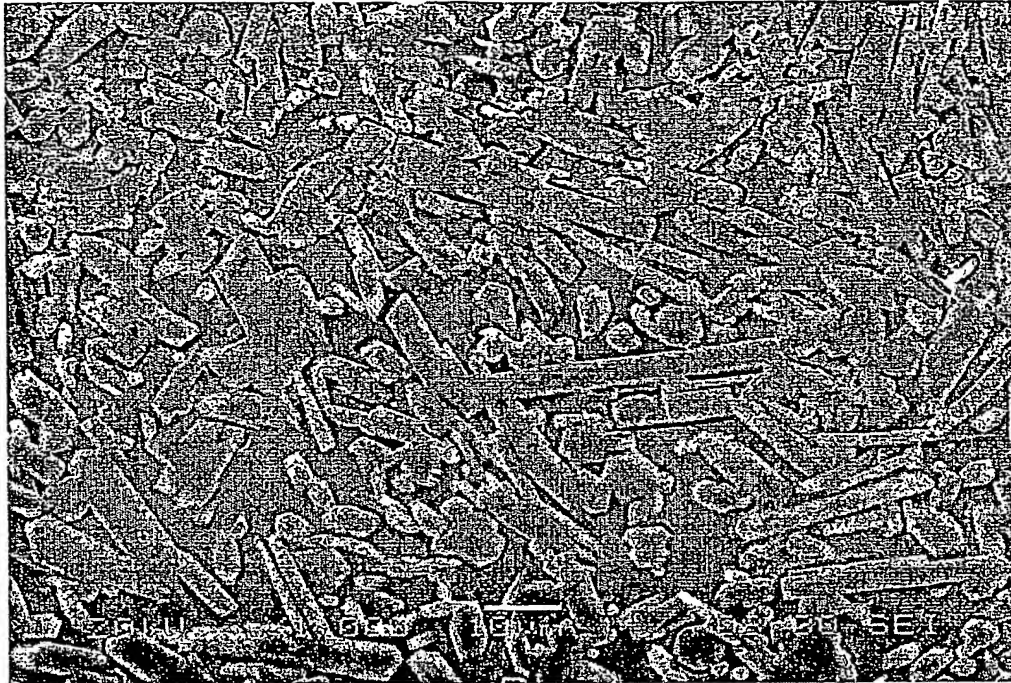


FIG.1



FIG.2

BEST AVAILABLE COPY